

〈논 문〉

# 입계부식법에 의한 사용중인 화력발전소 요소의 잔여수명평가

한상인\* · 윤기봉\*\* · 정세희\*\*\*

(1995년 9월 22일 접수)

## Assessment of Residual Life for In-Service Fossil Power Plant Components Using Grain Boundary Etching Method

Sang In Han, Kee Bong Yoon and Se Hi Chung

**Key Words :** Grain Boundary Etching Method : GEM(입계부식법), Intersecting Number Ratio (교차질단비), Material Degradation(재질열화), Larson Miller Parameter (LMP : Larson Miller 변수)

### Abstract

The grain boundary etching method as a method for assessing degradation of structural materials has received much attention because it is simple, inexpensive and easy to apply to real components. In this study, the effectiveness of the method is verified by successfully applying the technique to in service components of aged fossil power plants such as main steam pipes, boiler headers and turbine rotors. A new degradation parameter, intersecting number ratio ( $N_i/N_o$ ), is employed. The intersecting number ratio ( $N_i/N_o$ ) is defined as the ratio of intersection number ( $N_i$ ) obtained from 5 minute picric acid etched surface to the number ( $N_o$ ) obtained from nital etched surface. Two kinds of test materials, 2.25Cr-1Mo steel and 1Cr-1Mo-0.25V steel, were artificially thermal-aged at 630°C in different levels of degradation., ( $N_i/N_o$ ) were measured. And, correlations between the measured values and LMP values calculated from aging temperature and aging time were sought. To check the validity of the correlations obtained in laboratory, similar data were measured from service components in four old Korean fossil power plants. These on site measurement data were in good correlation with those obtained in the laboratory.

### 1. 서 론

설비노후의 가장 큰 원인중 하나는 재질열화(material degradation)이며, 열화는 장시간 사용, 고온환경, 부하조건, 부식환경 등의 원인이 복합적으로 작용하여 재료의 특성을 변화시킴으로써 발생

한다. 이 변화는 탄화물의 조대화, 미량의 불순물 편석, 금속간화합물의 석출 등에 기인한 연화(softening), 취화(brittlement) 등이며 재료의 열화로써 나타난다.<sup>(1)</sup> 수명평가를 위한 효과적인 방법은 열화된 부분에 대해서 시편을 채취하여 재료 시험을 행함으로써 열화된 물성을 찾는 것이다. 그러나 가동중의 설비에서 시편을 채취하기란 극히 어려우므로 비파괴적인 방법으로 재료의 열화된 부분을 검출하여 수명평가를 행하는 것이 바람직하다.

\*한국가스안전공사 안전진단처 장치검사부

\*\*회원, 중앙대학교 기계설계학과

\*\*\*회원, 전북대학교 정밀기계공학과

비파괴적인 방법으로 와류탐상법, 자성측정법, 초음파측정법, X-선측정법, 표면부세법, 강도법, 전기화학적 방법, 입계부식법 등이 사용되어 왔다. 이 중 입계부식법(grain boundary etching method : GEM)은 불순물 편식에 의한 재료의 취화정도를 측정하는 방법으로, 가공중에 있는 고온 부재를, 설비검사시에 비파괴적으로 검사하기 위해서 불순물을 선택적으로 부식이 가능한 피크린산(picric acid) 수용액에 부식액을 이용하여 입계를 선택적으로 부식시키는 방법을 이용했다.<sup>(2,3)</sup> 입계부식법은 적용에 따른 특성값(입계부식폭, 표면거칠기, 입계격자절단비)을 측정하는 것이 쉽고, 비용이 저렴하여 많이 이용되어 왔다. 그러나 특성값 측정에 있어서 부식폭, 부식깊이 등을 측정하는 경우, 측정값이 매우 작으므로 측정인에 의한 오차율 수반하는 단점이 있어서 정량적인 평가보다는 정성적인 열화도 평가에 사용되어 왔다.<sup>(4)</sup>

본 논문에서는 이와같은 입계부식법의 단점을 극복하는 방안으로 특성값으로 부식폭, 부식깊이 대신 격자절단비를 사용하는 방법을 연구하였다. 실험재료로 고온에서도 우수한 기계적 성질을 갖는 2.25Cr-1Mo강과 터빈로터용 소재로 사용되는 1Cr-1Mo-0.25V강을 사용하였다. 이 재료를 실험실에서 등온노화열처리시켜 시효시간에 따라서 열화정도가 다른 여러 시편을 준비한 후에 이들을 대상으로 입계부식시험을 행하여 열화도를 나타내는 특성값인 격자절단비를 측정하였다. 이러한 측정값과 시효시간 및 시효온도의 함수인 Larson Miller Parameter (LMP) 값의 상관관계를 구하였으며 이 관계식을 이용한 재열화정도의 예측가능성과 정량적인 수명평가 가능성을 검토하였다. 또한, 실제 사용중인 고온 플랜트요소에서도 유사한 측정을 하여 현장에서의 적용가능성을 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 재료는 고온구조물 요소의 내

열부재로서 사용되는 2.25Cr-1Mo강과 터빈로터용 소재로 이용되는 1Cr-1Mo-0.25V강이며, 화학성분은 Table 1과 같다.

이 강들을 대상으로 장시간 사용되어 열화된 실기(實機)부재와 유사한 미세조직을 얻기위해서 일반 사용온도(500~538℃)보다 높고 뜨임온도보다 낮은 온도인 630℃에서 등온노화열처리(isothermal aging heat treatment)를 행하였다.<sup>(5,6)</sup> 이때 열처리 시간은 철의 자기화산에 필요한 활성화에너지를 고려하여 식 (1), (2)로 등온노화열처리에 필요한 시간을 결정하였다. 즉,

$$538^{\circ}\text{C에서 } D_1 = D_0 e^{(-\frac{Q_1}{RT_1})} = \frac{C}{t_1} \quad (1)$$

$$630^{\circ}\text{C에서 } D_2 = D_0 e^{(-\frac{Q_2}{RT_2})} = \frac{C}{t_2} \quad (2)$$

C는 상수이며, 이때 확산계수  $D_1 = D_2$ 이므로 식 (3)의 관계식이 성립한다.

$$t_2 = t_1 e^{(\frac{Q_2 T_1 - Q_1 T_2}{R T_1 T_2})} \quad (3)$$

여기서, R은 기체상수이고, 철의 자기 활성화에너지, Q는 65 Kcal/mol이다.

Table 2는 각 강들의 등온노화 열처리시간과 실기부재의 증가시간을 나타내며, Table 3은 실험에 대한 기계적 성질을 보인 것이다.

### 2.2 입계부식시험

본 연구에 사용된 시험은 격자절단비를 정량화하기 위해서 5분 입계부식시험과 나이탈부식시험을 행하였다. 5분 입계부식시험의 목적은 등온노화열처리재료의 시효시간에 따라 열화되어 변화하는 입계수를 측정하기 위함이고, 나이탈부식은 전 입계가 드러난 상태에서 격자절단비를 구하기 위한 기준으로 설정하는데 그 목적이 있다. 5분 입계부식시험을 위해 사용된 표준부식액은 증류수를 100℃에서 충분히 가열하여 탈기한 후 냉각하여, 25℃에서 이 증류수 100cc에 피크린산 1.3 gr을 용해시키고, 여기에 계면활성화제(sodium tridecylbenzen sulfonic acid) 1 gr을 용해시켜 제작하였다. 나이

Table 1 Chemical composition in weight percent

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
2.25Cr-1Mo	0.13	0.01	0.42	0.02	0.29	0.12	2.23	1.12	-
Cr-Mo-0.25V	0.31	0.23	0.76	0.006	0.001	0.36	1.11	1.32	0.27

**Table 2** Accelerated aging time at 630°C  
(a) 2.25Cr-1Mo steel

Simulated time in service at 538°C (hr)	Accelerated aging time at 630°C (hr)
1,762	32
7,103	129
18,171	330
37,444	680
62,995	1,144
88,381	1,605
100,200	1,820

(b) 1Cr-1Mo-0.25V steel

Simulated time in service at 538°C (hr)	Accelerated aging time at 630°C (hr)
14,317	260
25,000	454
37,995	690
51,376	933
62,885	1,142
76,101	1,382
87,995	1,598
100,200	1,820

탈부식액은 알콜 95%에 질산 5%를 첨가한 용액을 사용하였다. 시험편은 표면을 #1500까지 습식연마한 후, #6 $\mu$  #1 $\mu$ 의 순서로 다이아몬드 연마제를 사용하여 연마하였다.

실기적용 시험은 인위적으로 등온노화열화시킨 재료로 측정된 입계부식법의 격자절단비로부터 얻은 마스터곡선(master curve)을 가동중인 고온고압조건에서 장시간 사용한 부재에 대해 적용했을 때, 그 적용 타당성을 검토하기 위해서 실시하였다. 실기적용 시험 대상설비는 현재 가동중인 4개의 국내 발전설비로서 사용시간이 약 10~20만 시간 이상의 이력을 갖고 있는 고온요소중 Cr-Mo강을 주로 사용하는 보일러 헤더 및 주증기관과 Cr-Mo-V강을 사용하는 터빈로터에 대해서 시험을 실시했다. 대상설비 및 이력은 Table 4와 같다.

입계부식법의 실기설비에 대한 적용은 측정조건을 일정하게 유지하기 어렵고, 주위환경(온도차, 가스)의 영향을 많이 받기 때문에, 일정조건을 유지하기 위해 주의하여 측정하였다. 실기 적용시험의 개략적인 방법은 다음과 같다. 먼저 열화진단 및 수명평가가 필요한 중요 요소 및 취약부위를 선정한다. 선정된 부위의 산화스케일을 제거하기 위해 연삭한다. 스케일이 제거된 부위를 이동식 연마기를 이용하여 수지 연마지로 #100~#1200까지 연마한다. 연마된 부위의 표면을 다이아몬드 연마제를 이용하여 6  $\mu$ m, 1  $\mu$ m 순으로 연마하여 경면상태를 유지시킨다. 이러한 처리후 5% 나이탈 부식액을 이용하여 연마된 부위를 부식시킨다. 실기의 시편채취는 불가능하므로 부식된 부위를 표면복제용 필름을 이용하여 조직을 복제한다. 표면복제 필름(replica film)을 부착한 후 약 5분이 경과한

**Table 3** Mechanical properties

(a) 2.25Cr-1Mo steel (Virgin)

Yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation(%)	Vickers Hardness (49N)
306	516	28.8	122

(b) 1Cr-1Mo-0.25V steel (Virgin)

Yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation(%)	Vickers Hardness (49N)
680	847	21.8	264

**Table 4** Power plant components and their operational history for on-site measurements using grain boundary etching method

Units	Operating temp. (°C)	Operating time (hr)
Unit A1	515	151,000
Unit A2	480~500	183,000
Unit B1	523	174,000
Unit C2	538	100,000
Unit D1	510	200,000

후, 조직복제 필름을 떼어 보관하고 부식된 부위를 #400~1 μm까지 다시 연마하여 부식면을 제거한다. 연마된 면에 입계부식을 위한 표준부식액으로 5분 부식을 행한다. 부식된 부위를 같은 방법으로 표면복제한다. 입계부식의 실기적용에 사용된 표준부식액은 등온노화열처리재에 사용한 부식액과 동일하였다. 표면복제에 사용한 필름은 금속조직 검사용으로 아세틸셀룰로즈 필름(acetylcellulose film)과 파라핀(paraffine)을 조합한 것으로서 두께 0.035 mm인 필름을 이용하였다. 현장에서 표면을 복제하는 조직채취는 안전성이나 작업성때문에

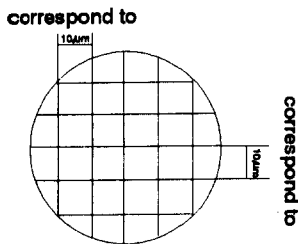
제약받기 쉽고, 분진 등의 혼입방지가 필요하므로 실험실에서 채취한 것과 같은 양질의 표면복제를 위해서는 상당한 주의가 필요하다.

5분 입계부식과 나이탈부식을 시킨 시험편을 대상으로 3개소 이상의 국소부위에 대해 광학현미경 사진을 촬영한다. 인화된 사진위에 Fig. 1과 같은 격자수측정판을 그려 각각의 조직사진에 나타난 입계와 격자와의 교차점을 찾아 교차된 격자점 수를 세어 격자절단비( $N_I/N_0$ )를 구한다. 격자의 간격이 10 μm로 정해져 있으므로 조직사진의 배율은 임의로 조정할 수 있다. Fig. 2는 열화정도에 따른 격자교차점의 증가를 가시화하여 보인 그림이다. Fig. 2에서 조직에 나타난 입계와 격자와의 교차점을 ○로 표시하였다. 여기서,  $N_0$ 는 나이탈부식을 시켰을때 드러난 교차입계수(交叉粒界數: number of intersecting points)로 이를 기준으로 하고,  $N_I$ 는 5분 입계부식을 시켰을 때 부식되어 나타난 교차입계수이다.

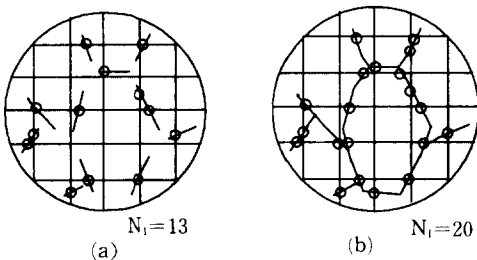
### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 시효시간에 따른 격자절단비의 변화

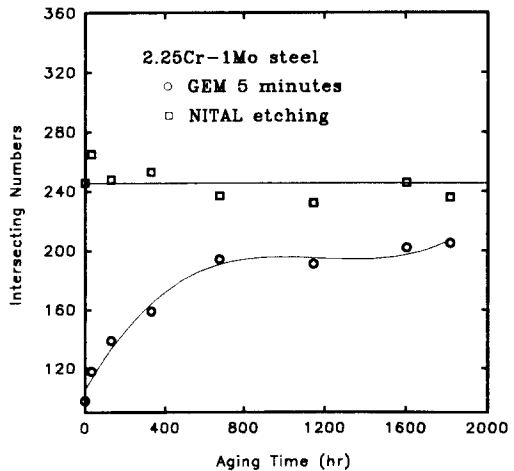
Fig. 3과 Fig. 4는 2.25Cr-1Mo강과 1Cr-1Mo-0.25V강에 대해 피크린산 표준액을 사용하여 5분 입계부식 시험후에 측정된 격자교차수를 시효시간에 따라 나타낸 것이다. 5분 표준액부식의 경우에는 시효시간이 증가하여 재료가 열화된 입계의 출현량이 점차적으로 증가하는 반면, 나이탈부식의 경우는 시



**Fig. 1** Sheet film for measuring numbers of intersecting point



**Fig. 2** Variation of number of intersecting points with aging time



**Fig. 3** Variation of intersecting number ratio with aging time. (2.25Cr-1Mo steel)

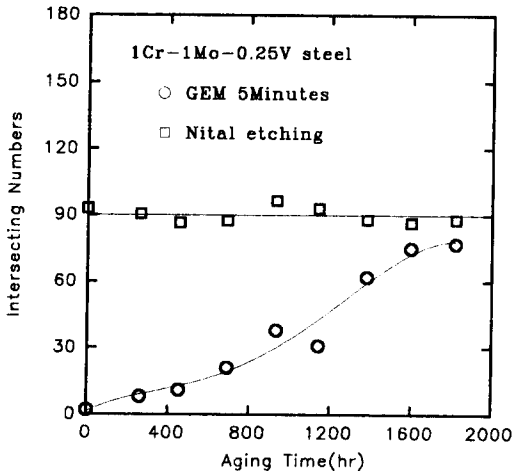


Fig. 4 Variation of intersecting number ratio with aging time. (1Cr-1Mo-0.25V steel)

효시간과 관계없이 거의 일정한 입계출현량을 나타냄을 알 수 있다. 즉, 등온노화열처리재에서 열화시간의 증가에 따라 입계에 탄화물과 불순물이 편석되고 그 양도 증가하며, 이를 표준부식액으로 5분 부식후 측정된 격자교차수로 표시할 수 있음을 보이는 것이다. 또한 나이탈 전면부식의 출현된 입계수가 거의 일정한 값을 나타내는데, 이는 재료의 열화 정도와는 관계없이 재료의 원래 입계특성을 나타내는 것이므로 이 값으로 5분 입계부식의 격자교차수를 무차원화(normalizing)한 격자절단비를 사용하여 재질열화도를 정량화 할 수 있을 것이다.

Fig. 5는 신재와 1,820시간 모의열화시킨 2.25Cr-1Mo의 5분 입계부식, 나이탈부식을 했을 때의 조직사진이며, Fig. 6은 1Cr-1Mo-0.25V강의 신재와 1,820시간 모의열화시킨 경우의 5분 입계부식,

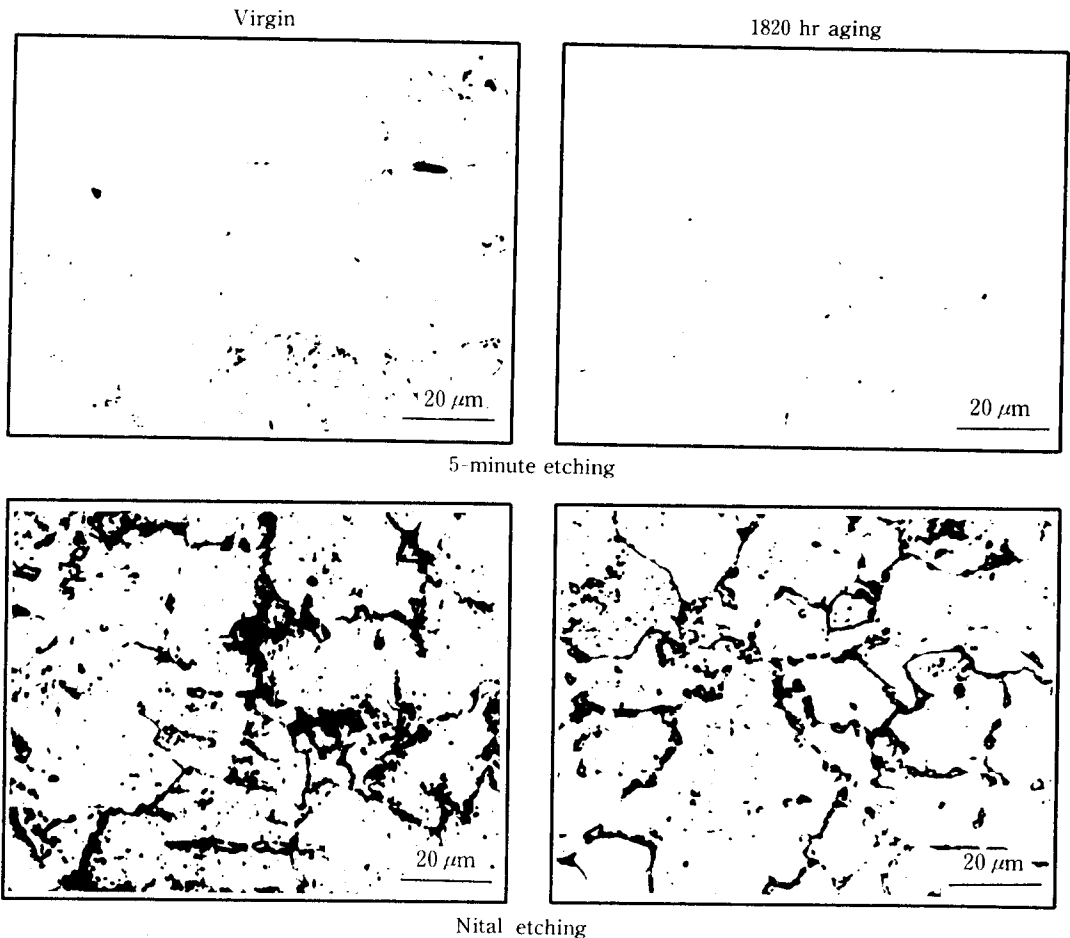


Fig. 5 Microstructures of virgin and 1820hr aging material after nital etching and 5-minute GEM etching. (2.25Cr-1Mo steel)

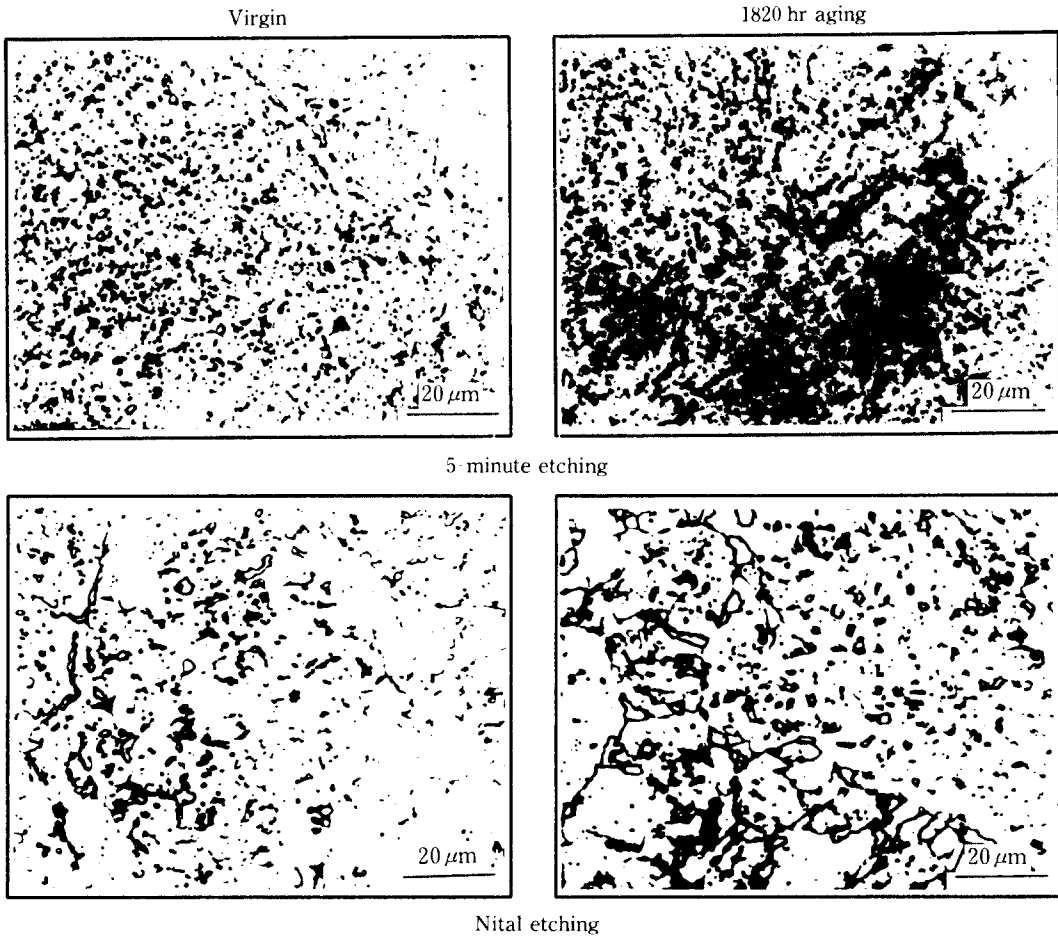


Fig. 6 Microstructures of virgin and 1820hr aging material after nital etching and 5-minute GEM etching. (1Cr-1Mo-0.25V steel)

나이탈부식을 했을 때의 조직사진이다. 입계 5분부식의 경우, 신재는 페라이트/퍼얼라이트 조직이며 1,820시간 등온노화 열화재는 퍼얼라이트의 분해 및 탄화물의 석출과 불순물의 입계편석으로 입계부식후 입계가 뚜렷이 드러남을 알 수 있다. 반면, 나이탈부식의 경우 신재나 열화재 모두 입계편석의 정도에 관계없이 나이탈부식하면 거의 모든 입계가 부식에 의해 나타나므로, 드러난 입계의 정도변화는 거의 없었다.

### 3.2 격자절단비와 LMP와의 관계

크리프 파열수명(rupture life,  $t_r$ )은 부하된 응력과 온도(T)의 함수이다. 따라서, 응력-파열수명의 관계도는 크리프실험 온도조건에 따라 서로 다르게

나타난다. 이때 파열수명대신 파열수명과 온도를 모두 고려한 Larson Miller parameter(LMP)를  $(T+273)(20+\log t_r)$ 로 정의하여 응력-LMP의 관계도를 구하면, 실험 온도가 변하여도 한개의 관계선도를 얻을 수 있고, 이 마스터곡선(master curve)을 크리프수명에측에 널리 사용하고 있다. 고온 플랜트요소들의 수명소비율은 파열수명에 대한 사용시간의 비율인,  $t/t_r$ 로 나타낸다. 따라서, 수명소비 정도 또는 온도와 사용시간에 따른 재료의 열화정도를 표시할 때에  $t_r$ 을  $t$ 로 내치한 LMP, 즉  $LMP \times 10^3 = (T+273) \times (20+\log t)$ 를 변수로 사용할 수 있을 것이다. 전기부식법 (1)의 적용으로 재료열화도를 표시할 때에 이와 같은 LMP로 좋은 관계식을 얻은 결과가 보고되어 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 2.25Cr-1Mo강과 1Cr-1Mo-0.25V강의 열처리시편으로부터 측정된 격자절단비와 열처리조건으로부터 계산된 LMP와의 관계를 나타낸 것이다. 즉, 온도 T는 시효온도인 630°C, 시간 t는 등온노화열처리재 시효시간을 사용하였다. Fig. 7 및 Fig. 8에서 알 수 있듯이 데이터의 산포가 적었다. 2.25Cr-1Mo강과 1Cr-1Mo-0.25V강의 경우 각각의 상관관계는 식 (4), (5)로 나타낼 수 있다.

$$N_i/N_o = 11.54(LMP)^2 - 1.277(LMP) + 0.03654 \quad (4)$$

$$N_i/N_o = 782.2(LMP)^2 - 76.87(LMP) + 1.890 \quad (5)$$

식 (4), (5) 또는 Fig. 7, Fig. 8에 나타난 관계식을 이용하면 고온 플랜트요소에서 격자절단비값을 측정함으로써, 측정값으로부터 고온 요소의 그때까지의 사용시간 또는 운전온도 등을 평가할 수 있을 것이다. 또한, 격자절단비를 측정하면 측정당시의 재질 열화정도를 알게 되어 향후 사용시간이나 사용온도에 따른 열화진행속도를 예측할 수 있게 된다. 이를 이용하여 고온 요소의 잔여수명을 평가할 수 있다.

### 3.3 입계부식법의 고온 플랜트요소에서의 적용

위에서 설명한 입계부식법(GEM)을 실제 플랜트 요소에 적용시험한 목적은 실험실에서 인위적으로 등온노화열처리한 재료의 입계부식 데이터에 근거해서 유도해 낸 격자절단비와 LMP의 관계식이 고온고압하에서 장시간 사용된 부재에 대해서도 적용되는지 확인하기 위해서이다.

실제 적용시험은 가동중인 노후 화력발전소의 보일러 헤더, 터빈로터 및 주증기관 등의 고온 부재에 대해 정기정검기간중 현장에서 격자절단비를 측정함으로써 행하였다. 대상 발전소는 고온 고압하에서 10만 시간 이상 운전해 온 A화력, B화력, C화력, D화력 등의 국내 5개의 화력발전소이다. 각각 입계부식 표준액 5분 부식 및 나이탈 전면부식을 실시하였다. 측정결과는 Table 5에 보인 바와 같다. 발전소 요소재료의 구성성분은 Cr-Mo강의 경우 2.25Cr-1Mo강의 표준성분과 꼭 일치하지는 않았으며, 2.25Cr-1Mo강, 1.25Cr-0.5Mo강 등으로 구성되어 있으나 이들 모두에 대해 적용시험을 실시하였다. Cr-Mo-V강의 경우 1Cr-1Mo-0.25V강의 구성성분과 유사하였다.

Fig. 9과 Fig. 10은 Table 5의 (a), (b)에 나타

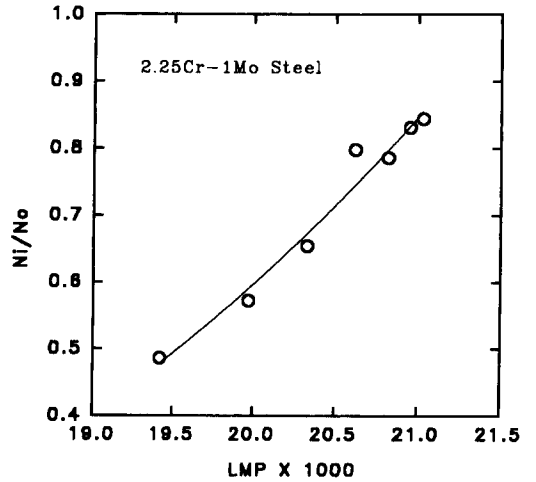


Fig. 7 Relation between intersecting number ratio and Larson-Miller Parameter. (2.25Cr-1Mo steel)

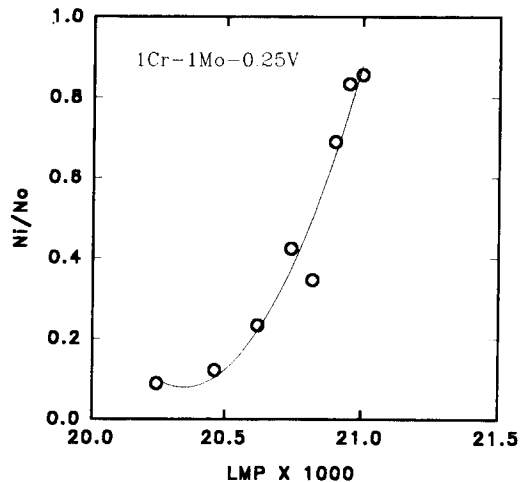


Fig. 8 Relation between intersecting number ratio and Larson-Miller Parameter. (1Cr-1Mo-0.25V steel)

낸 발전소 요소의 측정결과를 각각 Fig. 7, Fig. 8에 나타내었던 등온노화열처리재 실험데이터 및 회귀선과 함께 표시한 것이다. 기호 ○는 앞에서 설명한 것과같이 등온노화열처리재에서 측정된 격자절단비를 나타낸 것이며, ●■▼▲◆ 등의 기호는 발전소 고온 요소에서 측정된 값을 나타낸다. 그림에 보인 바와 같이 등온노화열처리재의 데이터 회귀선에 적용시험의 측정값들이 비교적 잘 일치하고

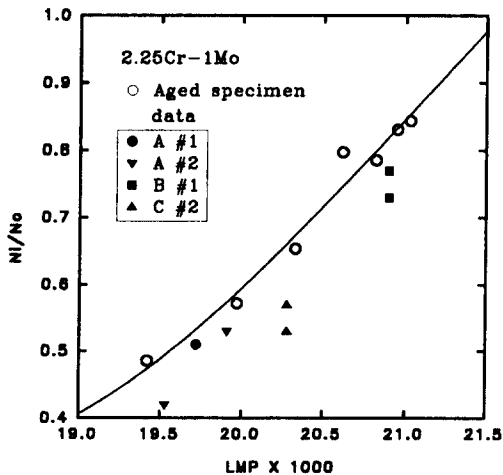
**Table 5** Results of on-site GEM measurements at several domestic GED power plants

(a) Cr-Mo steel

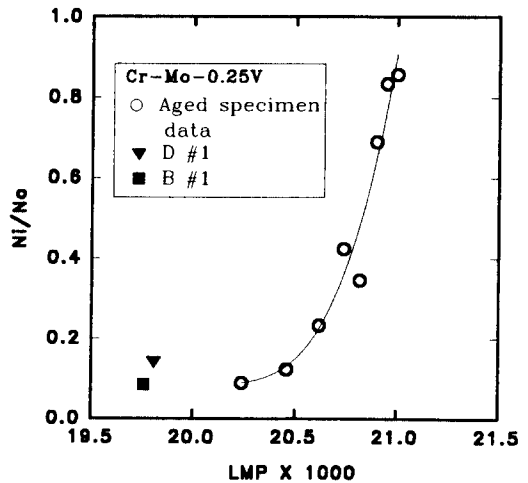
Power plants	Components	Locations	$N_i/N_o$	LMP $\times 10^3$
Unit A1	Main steam line	Bend superheater outlet	0.51	19.72
Unit A2	Superheater inlet header	Rear butt weld	0.42	19.53
	Superheater outlet header	Rear butt weld	0.53	19.91
Unit B1	Y-Piece	Lefthand leg (lefthand flank)	0.73	20.90
	Main steam line terminal weld	Bend	0.77	20.90
Unit C2	Superheater inlet header	Left butt weld	0.53	20.28
	Superheater outlet header	Left butt weld	0.57	20.28

(b) Cr-Mo-V steel

Power plants	Components	Locations	$N_i/N_o$	LMP $\times 10^3$
Unit D1	LP rotor	Exhaust	0.143	19.81
Unit B1	LP rotor	Exhaust	0.085	19.76



**Fig. 9** On-site measurement results for Cr-Mo steel



**Fig. 10** On-site measurement results for Cr-Mo-V steel



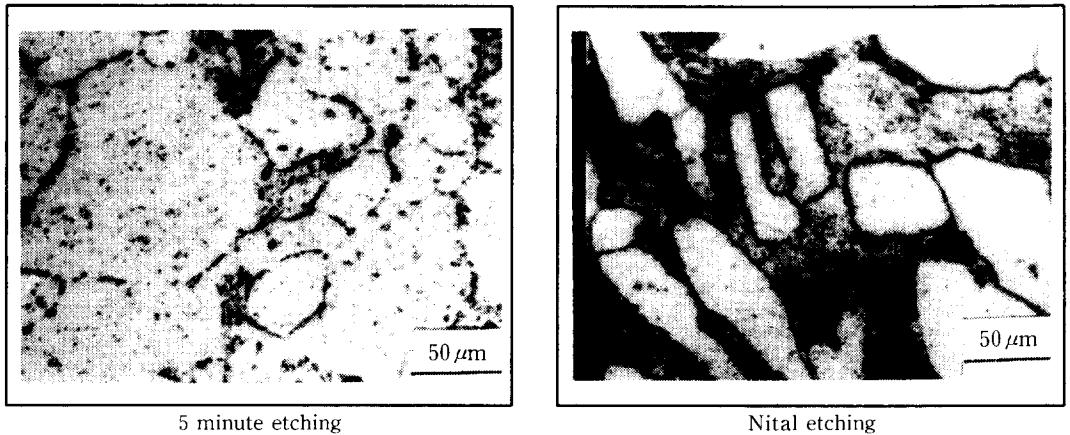


Fig. 11 An example of Cr-Mo steel microstructures of on-site components

있다.

Fig. 9에서 열처리재료로부터 결정된 기준회귀선으로부터 평가된 LMP보다 실제요소의 LMP가 일반적으로 높게 나타났다. 이 이유는 국내발전소의 운용실태와 관련지어 다음과 같이 추측할 수 있다. Fig. 9에 표시한 실제 플랜트요소의 LMP는 각 플랜트요소의 사용시간(operating time) 및 설계온도에 근거해서 계산된 값이다. 사용시간은 비교적 정확하나, 정확한 LMP값을 알려면 사용시간 이외에도 정확한 실제 사용온도를 알아야 한다. 국내 플랜트의 지난 10~20년 동안의 사용온도는 알려지지 않고 있기 때문에, Fig. 9에서는 사용온도 대신 설계온도를 LMP값 계산에 사용하였다. 국내의 경우 초기의 발전소 운영당시에는 설계온도에 준하는 온도로 사용되었지만, 최근에는 전력소비증가와 함께 과다한 설비 운영이 요구되어 실제 사용온도는 설계온도에 매우 가까운 경우가 많은 것으로 알려져 왔다. 따라서 설계온도와 사용온도의 차이때문에 플랜트에서 실측한 데이터들의 LMP값은 실제보다 약간 높게 계산된 것으로 추측된다.

Fig. 10의 Cr-Mo-V강의 경우는 실제요소의 측정값이 열처리 시편으로부터 구한 기준선도의 LMP범위를 벗어나지만 경향은 일치하고 있다. Cr-Mo-V강의 요소는 터빈로터의 검사부위가 저압부 로터부분으로 온도가 비교적 낮기때문에 LMP도 적고 취화정도도 낮아서, 이 부분의 평가를 위해서는 630℃보다 낮은 온도에서의 등온노화열처리 시편 데이터가 필요할 것이다. Fig. 11에는 실제 플랜트요소 설비에서 채취한 입계부식후 표면복제 필

름의 조직을 광학현미경으로 관찰한 조직사진을 보여 주었다.

이상의 결과를 종합하여 볼때, 본 논문에서 제시한 Cr-Mo강 및 Cr-Mo-V강의  $N_i/N_0$ 와 LMP의 관계를 이용하면, 고온 플랜트요소에 입계부식법을 적용하여 격자절단비를 측정함으로써 측정당시의 LMP값을 알아서 열화상태를 평가할 수 있다. 이 LMP값으로부터 그때까지의 사용시간(사용온도를 아는 경우) 또는 사용온도(사용시간을 아는 경우)를 평가할 수 있다. 또한 격자절단비를 측정할 부위의 응력값을 안다면 ISO 규격의 크리프수명 마스터곡선 또는 일본의 금속재료연구소(NRIM, National Research Institute of Metals)의 마스터곡선으로부터 파열수명을 계산할 수 있으므로 파열수명과 측정 당시까지의 사용시간으로부터 잔여수명을 추정할 수 있다.

#### 4. 결 론

등온노화열처리한 2.25Cr-1Mo강과 1Cr-1Mo-0.25V강을 대상으로하여 재료의 열화도 평가를 위한 비파괴적인 방법중의 하나인 입계부식법을 사용하여 격자절단비를 측정함으로써 고온 부재의 잔여수명 및 열화진행정도의 정량적인 평가과정에 대해 연구하였으며, 이를 현재 가동중에 있는 고온요소에 대해서 적용시켜 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 등온노화 열처리한 2.25Cr-1Mo강, 1Cr-1Mo-0.25V강에 대해 입계부식법을 적용하여 측정할 격

자절단비와 열처리온도 및 열처리시간으로부터 계산한 Larson Miller parameter(LMP)와의 상관관계를 구하였으며, 이관계는 고온에서 10~25년 사용된 5개의 국내 화력발전소 요소에서 측정된 격자절단비와 설비 사용시간 및 사용온도로부터 계산된 LMP와의 관계와 유사하였다.

(2) 고온 플랜트요소에 입계부식법을 적용하여 격자절단비를 측정하면, 본 논문에서 제시한 관계식을 이용하여 LMP값을 추정함으로써, 이 LMP값으로부터 그때까지의 사용시간(사용온도를 아는 경우) 또는 사용온도(사용시간을 아는 경우)를 평가할 수 있으며, 또한 측정부위의 응력값으로부터 파열수명을 계산할 수 있으므로 요소의 잔여수명을 추정할 수 있다.

## 후 기

본 연구의 일부는 한국전력공사 기술연구원의 지원에 의하여 한국표준과학연구원 주관으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

(1) 渡邊 豊, 1990, “耐熱鋼の經年的材料損傷とそ

の電氣化學的 非破壞計測. 評價手法の開発に關する研究,” Tohoku University, Ph. D Thesis.

(2) 野方文雄, 1987, “粒界腐食法によるプラント用高温部材の經年劣化評價法について,” *HIKAI. KENSA (J. NDI)*, Vol. 36, No. 8.

(3) 野方文雄, 1988, “粒界腐食法によるタービンロ-タの經年劣化評價法について,” *Journal of the Japanese Society for Strength and Fracture for Materials* Vol. 23, No. 3, pp. 83~92.

(4) 김정기, 1993, “高温機器部材의 經年材質劣化評價에 關한 研究,” 전북대학교 박사학위논문.

(5) Abdel-Latif. A. M., Corbett. S. M., Sidey. D. and Taplin D. M. R., 1981, “Effect of Microstructural Degradation on Creep Life Prediction of 2-1/4Cr-1Mo Steel,” Fifth Canadian Conference on Fracture, pp. 1613~1620.

(6) Abdel-Latif. A. M., Corbett. S. M. and Taplin D. M. R., 1982, “Analysis of Carbides formed during Accelerated Aging of 2. 25Cr-1Mo Steel,” *Metal Science*, Vol. 16, pp. 90~96.